

Marcin ROZMUS, Jolanta KRYSTEK, Witold ILEWICZ
Politechnika Śląska

ZASADA PARETO ORAZ ANALIZA 5WHY W PLANOWANIU PREWENCJI UTRZYMANIA RUCHU

Streszczenie. Współczesne utrzymanie ruchu nie skupia się już tylko na działaniach reakcyjnych, ale także w dużej mierze na działaniach prewencyjnych. Artykuł przedstawia sposób praktycznego wykorzystania zasady Pareto oraz analizy 5Why, w celu określenia głównych przyczyn awaryjności wybranej maszyny produkcyjnej. Przedstawiona metoda może zostać wykorzystana jako narzędzie wspomagające planowanie działań prewencyjnych przez dział utrzymania ruchu.

PARETO PRINCIPLE AND 5WHY ANALYSIS IN PLANNING THE PREVENTION OF FACILITY MAINTENANCE

Summary. Modern facility maintenance is no longer focused only on reactionary activities, but also to on preventive activities. The article presents the method of practical use of the Pareto principle and the 5Why analysis to determine the main causes of failure of the selected machine. The presented method can be used as a tool to support the planning of preventive activities by the facility maintenance department.

1. Wprowadzenie

Utrzymanie ruchu (ang. *maintenance*) jest działem technicznym przedsiębiorstwa odpowiedzialnym za zapewnienie należytego stanu infrastruktury technicznej zakładu. Dział ten podejmuje różnorodne działania mające na celu utrzymanie ciągłości produkcji/pracy, dostępności maszyn, urządzeń, instalacji czy narzędzi poprzez usuwanie bieżących awarii tych zasobów produkcyjnych oraz zapobieganie wystąpieniu kolejnych problemów technicznych poprzez stosowanie odpowiednich procedur.

Jako awarię maszyny rozumie się nagłe, częściowe lub całościowe, utracenie zdolności pracy tej maszyny, bądź utratę możliwości pracy w określonej specyfikacji parametrów (zarówno względem produktu, jak i mediów).

Współczesne, w czasach czwartej rewolucji przemysłowej, utrzymanie ruchu nie skupia się już tylko na usuwaniu bieżących awarii parku maszynowego, ale także na działaniach profilaktycznych i przewidujących, mających zapobiegać wystąpieniu awarii. Odpowiednio dobrane działania prewencyjne, takie jak: planowane (okresowe)

przeglądy maszyn i urządzeń, remonty, czyszczenie, konserwacje i modernizacje, zakup części zamiennych, w znaczącym stopniu przyczyniają się do utrzymania ciągłości produkcji, co przekłada się na terminową realizację zleceń produkcyjnych, zwiększenie wydajności produkcji i zysków przedsiębiorstwa przy jednoczesnym obniżeniu kosztów [3, 4]. Celem jest maksymalizowanie wskaźnika całkowitej efektywności wyposażenia OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*), jednego z najważniejszych wskaźników KPI, (ang. *Key Performance Indicators*) [5]. Wskaźnik ten jest wypadkową trzech wielkości składowych uwzględniających dostępność i wydajność badanej maszyny oraz jakości uzyskiwanego produktu:

- *dostępność* – stosunek czasu faktycznego wykonywania pracy na danym stanowisku do założonego czasu trwania (obniżają go awarie i przezbrojenia);
- *wydajność* – stosunek czasu faktycznie efektywnej wykonanej pracy do maksymalnie efektywnej wykonanej pracy (obniża ją niedoskonałość w wykonywaniu pracy);
- *jakość* – stosunek liczby produktów bez wad do wszystkich produktów.

Światowym standardem *OEE* jest wartość przynajmniej 85%.

Nie bez znaczenia jest również zapewnienie pracownikom bezpiecznych warunków pracy. Do realizacji każdego z tych działań niezbędne jest wdrożenie odpowiedniej dla danego przedsiębiorstwa strategii utrzymania ruchu oraz stosowanie różnorodnych narzędzi wspomagających utrzymanie ruchu. Narzędziami mogą być programy komputerowe (CMMS), arkusze kalkulacyjne,

W niniejszym artykule opisane zostanie użycie zasady Pareto wraz z analizą 5Why, wspomagających tworzenie odpowiedniego planu prewencji, mające na celu zmniejszenie awaryjności badanego parku maszynowego.

1.1. Zasada Pareto

Zasada Pareto (znana także jako zasada 80/20) głosi, że rzeczywisty rozkład wielu cech przyjmuje stosunek 80% do 20%, a co za tym idzie tylko 20% przyczyn jest odpowiedzialne za 80% wyników. Celem jest pokazanie najbardziej istotnych, spośród (zwykle) dużej liczby, czynników. Przykładowo 20% klientów generuje 80% przychodów przedsiębiorstwa, 20% klientów składa 80% skarg lub 80% problemów powodowanych jest przez 20% przyczyn źródłowych. Sama proporcja 80/20 nie jest sztywna, a zasada wskazuje bardziej na istnienie nielicznych przyczyn, mających wpływ na większość rezultatów. Zasada Pareto znalazła szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach życia, takich jak ekonomia, zarządzanie, kontrola jakości. W kontroli jakości diagram Pareto zwykle reprezentuje najczęstsze przyczyny uszkodzeń, najczęstsze ich typy, najczęstsze przyczyny reklamacji, itp.

Autorstwo zasady Pareto jest powszechnie i mylnie przypisywane włoskiemu ekonomowi i socjologowi Vilfredo Pareto. Zajmował się on nierównomierną dystrybucją bogactwa na świecie. Zasada ta jednak została w sposób uniwersalny sformułowana przez amerykańskiego teoretyka zarządzania Josepha Juran. W 1951 r. Juran opublikował podręcznik *Quality Control Handbook* [2], w którym zawarł zasadę "vital few and trivial many", a więc "kluczowych nielicznych i błahych licznych".

W praktyce dla potrzeb analizy wykorzystuje się zasadę Pareto sporządzając tzw. diagram Pareto. Jest to diagram przedstawiający skumulowany wpływ poszczególnych

przyczyn na dany mierzalny skutek. Celem takiej analizy jest przede wszystkim przeciwdziałanie najczęściej występującym zjawiskom niepożądanym, bądź zjawiskom przysparzającym największych kosztów.

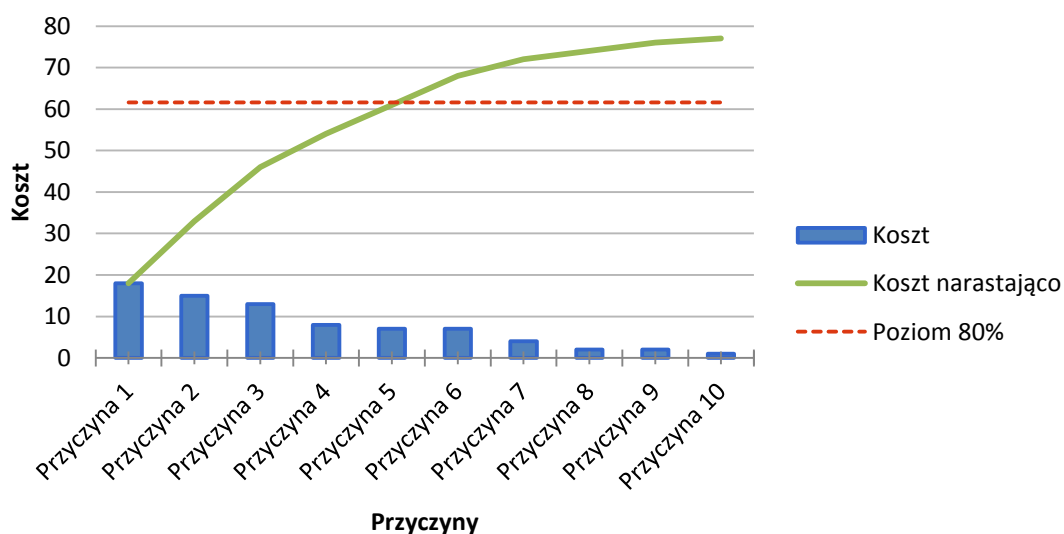
Aby było możliwe utworzenie takiego wykresu należy:

- wybrać mierzalne czynniki dające informacje o procesie oraz określić analizowany przedział czasu,
- zebrać dane,
- uszeregować przyczyny względem ich siły oddziaływania na proces.

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe dane ogólne, które mogą posłużyć do sporządzenia diagramu Pareto (rys. 1).

Tabela 1
Przykładowa tabela przyczyn i kosztów

Przyczyna	Koszt [u.j]
Przyczyna 1	18
Przyczyna 2	15
Przyczyna 3	13
Przyczyna 4	8
Przyczyna 5	7
Przyczyna 6	7
Przyczyna 7	4
Przyczyna 8	2
Przyczyna 9	2
Przyczyna 10	1



Rys. 1. Diagram Pareto bazujący na danych z tabeli 1

1.2. Metoda 5Why

Metoda 5Why (ang. *why?* – dlaczego?) jest metodą pozwalającą na zbadanie przyczyn źródłowych wybranego problemu. Metoda ta polega na pięciokrotnym zadawaniu pytania “dlaczego” tak, aby każde kolejne pytanie zbliżało do przyczyny problemu i przejść z ogólnego określenia problemu do szczegółowej analizy przyczyny źródłowej. Przyjmuje się, że odpowiedź na piąte pytanie będzie ostatecznym, które odkryje pierwotne źródło problemu. Druga część pozwala na sprawdzenie, czy uzyskana odpowiedź jest logicznie powiązana z początkowym stanem [1].

Przykład analizy 5Why:

- Pytanie 1: Dlaczego nastąpiło zatrzymanie awaryjne maszyny?
Odpowiedź 1: Ponieważ zadziałało zabezpieczenie silnikowe napędu.
- Pytanie 2: Dlaczego zadziałało zabezpieczenie silnikowe napędu?
Odpowiedź 2: Ponieważ silnik został przeciążony.
- Pytanie 3: Dlaczego silnik został przeciążony?
Odpowiedź 3: Ponieważ śruba kulowa uległa zużyciu.
- Pytanie 4: Dlaczego śruba kulowa uległa zużyciu?
Odpowiedź 4: Ponieważ nie była smarowana z odpowiednią częstotliwością.
- Pytanie 5: Dlaczego śruba kulowa nie była smarowana z odpowiednią częstotliwością?
Odpowiedź 5: Ponieważ źle dobrano okresy serwisów smarowniczych.
Wniosek: Przyczyną źródłową awarii maszyny był źle dobrany okres serwisu smarowniczego.

Z powyższego przykładu łatwo zauważyć, że tego typu analiza pozwala określić przyczynę problemu bardzo precyzyjnie. Główną zaletą metody 5Why jest jej prostota, jednak należy mieć na uwadze, że może ona prowadzić do błędnych wniosków.

2. Wykorzystanie zasady Pareto oraz analizy 5Why w działaniach prewencyjnych utrzymania ruchu

2.1. Założenia

Zgodnie z zasadą Pareto można przyjąć następujące założenia dotyczące eksploatacji maszyn:

- 80% wszystkich strat przynosi 20% wszystkich maszyn,
- 80% całkowitego postoju maszyny wynika z 20% wszystkich problemów z maszyną,
- 80% problemów z maszyną wynika z 20% przyczyn.

Zakłada się, że zakład produkcyjny posiada wdrożone procedury archiwizacji informacji o awariach parku maszynowego, dzięki czemu możliwe będzie

przetworzenie tych danych w celach analizy. Archiwizacja z wykorzystaniem zintegrowanego informatycznego systemu zarządzania – ZISZ, udostępnia możliwości sortowania i filtrowania zgromadzonych danych, co znacznie usprawnia proces analizy. Pomocna może także okazać się początkowa klasyfikacja przyczyn awarii.

2.2. Wybór analizowanej maszyny

Odpowiednią maszynę można wybrać na wiele sposobów, na przykład jako maszynę o największej liczbie awarii, najdłuższym czasie ich trwania lub jako maszynę o największym stopniu krytyczności według klasyfikacji ABC. Może być to również średnia ważona podanych czynników.

Po wytypowaniu odpowiedniej maszyny można przeprowadzić trzyetapową analizę:

Etap 1. Wybranie mierzalnych czynników opisujących proces oraz analizowanego okresu

W przypadku opisywanej metody prewencyjnej wybierane są czynniki: ilość awarii, czas ich trwania oraz ich przyczyny. Przyczynami awarii mogą być przykładowo: awaria części mechanicznej, awaria części elektrycznej, błąd obsługi, błąd w oprogramowaniu, brak czyszczenia, problemy z czujnikiem, brak mediów itd. Na tym etapie przyczyny awarii klasyfikuje się dość ogólnie, aby zebrane dane można było przetworzyć jako dane statystyczne.

Jako okres poddawany analizie zaleca się przedział od 3 do 6 ostatnich miesięcy. Dzięki temu analiza nie skupi się wyłącznie na bieżących problemach, ale także nie będzie brała pod uwagę problemów w pewien sposób już przedawnionych. Analizę powinno się powtarzać cyklicznie, aby po wyeliminowaniu zidentyfikowanych problemów móc podjąć kroki względem kolejnych, nieuwjętych w danej ocenie, problemów. Takie podejście jest zgodne z filozofią ciągłego doskonalenia zwaną Kaizen.

Etap 2. Zebranie i przetworzenie danych

Jednym z przedstawionych wcześniej założeń była komputerowa archiwizacja informacji o awariach. Dzięki takiemu systemowi można w łatwy sposób przefiltrować i pogrupować dane.

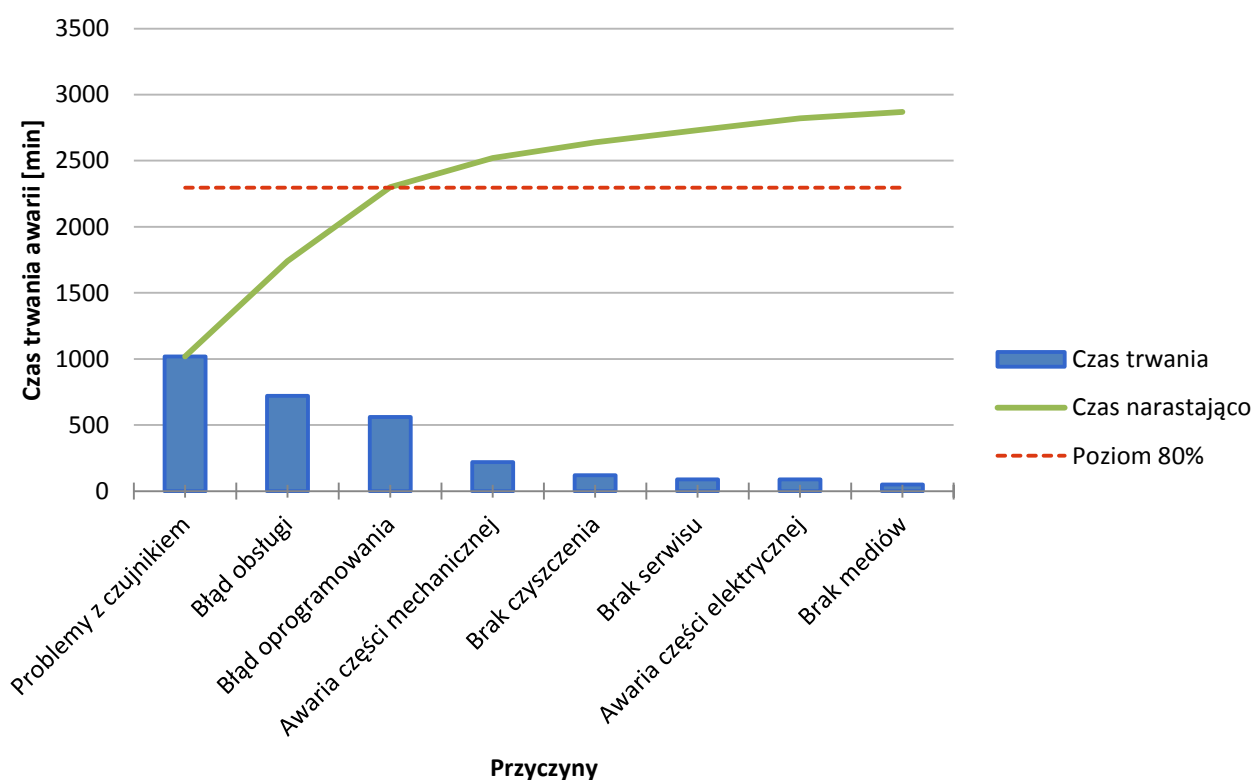
Analizowana dla potrzeb artykułu maszyna w ciągu ostatnich 3 miesięcy została zatrzymana przez awarię 26 razy na łączny czas 2870 minut, co przy planowanej pracy 24 godzinnej przez 5 dni w tygodniu wynosi około 3% planowanego czasu pracy. Ponieważ celem analizy jest zmniejszenie czasu przestoju maszyny, przyczyny awarii zostały uszeregowane malejąco względem czasu jej trwania. Dodano także kolumnę z narastającym czasem awarii, czyli czasem obecnej pozycji zsumowanym z czasami poprzednich pozycji. Obliczono także próg 80%, który wynosi dla badanego przypadku 2296 minut.

Przetworzone dane przedstawiono w tabeli 2. Na ich podstawie sporządzono diagram Pareto przedstawiony na rysunku 2.

Tabela 2

Uporządkowane przyczyny awarii i ich koszt

Przyczyna	Liczba wystąpień	Czas trwania [min]	Czas narastająco [min]
Problemy z czujnikiem	9	1020	1020
Błąd obsługi	4	720	1740
Błąd oprogramowania	1	560	2300
Awaria części mechanicznej	6	220	2520
Brak czyszczenia	2	120	2640
Brak serwisu	1	90	2730
Awaria części elektrycznej	2	90	2820
Brak mediów	1	50	2870



Rys. 2. Diagram Pareto dla analizowanej maszyny

Etap 3. Analiza i wnioski

Na podstawie utworzonego diagramu Pareto znaleziono przyczyny, które spowodowały 80% czasu przestoju. W badanym przypadku, z diagramu Pareto, (rys. 2) można łatwo odczytać, że 80% czasu postoju maszyny generują 3 przyczyny awarii. Są to: problemy z czujnikiem, błąd obsługi i błąd oprogramowania. Wybrane przypadki poddano analizie 5Why, mającej na celu zidentyfikowanie przyczyn źródłowych problemów. Następnie na podstawie przeprowadzonej oceny określono czynności prewencyjne, mające na celu zlikwidowanie źródła problemów. Przykład analizy 5Why przedstawiono poniżej.

Problem 1:

- Przyczyną awarii był błąd obsługi.
- 1Why? ↓ Dlaczego powstał?
Z powodu rutyny.
- 2Why? ↓ Co było źródłem rutyny?
Monotonia pracy.
- 3Why? ↓ Co było przyczyną monotonii?
Powtarzalna praca na tym samym stanowisku.
- 4Why? ↓ Dlaczego operator pracował na jednym stanowisku?
Z powodu braku rotacji stanowisk w trakcie zmiany.
- 5Why? ↓ Dlaczego nie było rotacji stanowisk?
Rotacja nie została przewidziana w trakcie tworzenia profilu stanowiska.

Rozwiązanie: Wprowadzić rotację stanowisk w trakcie zmiany.

Problem 2:

- Przyczyną awarii był problem z czujnikiem.
- 1Why? ↓ Dlaczego powstał?
Ponieważ czujnik utracił swoją pozycję.
- 2Why? ↓ Dlaczego czujnik utracił swoją pozycję?
Został przesunięty przez wibracje.
- 3Why? ↓ Dlaczego został przesunięty przez wibracje?
Z powodu słabego mocowania.
- 4Why? ↓ Co było źródłem słabego mocowania?
Poluzowane śruby mocujące.
- 5Why? ↓ Dlaczego śruby zostały poluzowane?
Nie zabezpieczono ich odpowiednio

Rozwiązanie: Używać kleju do gwintów.

Problem 3:

- Przyczyną awarii był błąd oprogramowania.
- 1Why? ↓ Dlaczego wystąpił błąd oprogramowania?
Ponieważ program natrafił na nieprzewidziany wyjątek.
- 2Why? ↓ Dlaczego program natrafił na nieprzewidziany wyjątek?
Ponieważ operator wykonał czynność nieprzewidzianą w programie.
- 3Why? ↓ Dlaczego czynność nie została przewidziana w programie?
Była to czynność niestandardowa, która nie wystąpiła w trakcie testów.
- 4Why? ↓ Dlaczego czynność nie wystąpiła w trakcie testów?
Testy były przeprowadzane według scenariuszy testów, które nie zawierały tej czynności.
- 5Why? ↓ Dlaczego scenariusze nie zawierały tej czynności?
Autorzy scenariuszy nie przewidzieli danej sytuacji.

Rozwiązanie: Zaktualizować scenariusze testowe. Poprawić kod programu.

Następnie zaproponowane rozwiązania poddawane są ocenie pod względem oczekiwanej skuteczności, kosztów i możliwości wykonania. Po wykonanej ocenie dokonuje się wyboru działań jakie zostaną podjęte, a sama analiza kończy się.

3. Podsumowanie

Minimalizacja liczby awarii zasobów produkcyjnych i czasu ich przestoju są kluczowe dla zapewnienia ciągłości produkcji i mają bezpośredni wpływ na produktywność. W wielu przedsiębiorstwach produkcyjnych procesy związane z utrzymaniem ruchu dotyczą jedynie działań związanych z usuwaniem bieżących awarii maszyn i urządzeń. Chcąc usprawnić zarządzanie systemem utrzymania ruchu należy uwzględnić wszystkie obszary działalności przedsiębiorstwa, które mają bezpośredni wpływ na awaryjność zasobów produkcyjnych, np.: planowanie remontów, planowanie produkcji – liczba przebrojeń, szkolenie operatorów, rejestracja wszystkich danych związanych z awariami, dostępność części zamiennych, dostępność wsparcia technicznego. Jedną z metod poprawy efektywności procesów utrzymania ruchu jest stosowanie Total Productive Maintenance w połączeniu z Zintegrowanym Informatycznym Systemem Zarządzania.

Za pomocą zasady Pareto możliwe jest ogólne wyznaczenie przyczyn, które były podstawą do wystąpienia awarii danej maszyny. Wspierając daną metodę analizą 5Why, pracownik służby utrzymanie ruchu jest w stanie zidentyfikować pierwotną przyczynę zatrzymania urządzenia. Poprawnie przeprowadzone analizy ułatwiają wykrycie nawet najmniejszej usterki, która spowodowała awarię całego parku

maszynowego, ale również są w stanie odkryć źródło problemu, które często jest poszukiwane w innych obszarach.

Zarówno zasada Pareto, jak i 5Why bazują na danych zebranych z pewnego okresu pracy maszyny. Analizując częstotliwość występowania danego zdarzenia, jak i czas jego trwania możliwe jest uszeregowanie przyczyn według ich krytyczności. Dzięki temu utrzymanie ruchu jest w stanie wdrożyć działania zapobiegawcze dla najbardziej kluczowych problemów i jednocześnie uchronić pozostałe moduły maszyny przed propagacją uszkodzeń.

Znając źródła problemów, które wystąpiły na maszynie, utrzymanie ruchu ma możliwość określić i zaplanować odpowiednie działania prewencyjne. Dodatkowo, wiedza uzyskana podczas analiz, pozwala na szybsze zdiagnozowanie przyczyn wystąpienia przyszłych awarii.

Praca finansowana jest ze środków przewidzianych na BK-204/RAu1/2017 - temat 9.

LITERATURA

1. Dudek M.: *Szczupłe Systemy Wytwarzania*. Warszawa : Wydawnictwo Difin, 2016.
2. Juran J., M.: *Quality-control handbook*. New York, McGraw-Hill, 1951.
3. Kłós S., Woźniak W.: *The Method of Maintenance Processes Improvement in Manufacturing Enterprise, Management*, 2009 vol. 13, no 1, p. 245-256.
4. Ljunberg Ö.: *Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities*. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 18 Iss: 5, 1998, p.495-507.
5. Mazurek W.: *Wskaźnik OEE – Teoria i praktyka*. Wydanie II 2014 Neuron.
6. Diagram Pareto, https://mfiles.pl/pl/index.php/Diagram_Pareto, dostęp 31.05.2018.
7. Diagram Pareto, https://mfiles.pl/pl/index.php/Diagram_Pareto, dostęp 31.05.2018.
8. Metoda 5Why, https://pl.wikipedia.org/wiki/Metoda_5_why, dostęp 31.05.2018.
9. Zasada Pareto, https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_Pareta, dostęp 31.05.2018.